

# 周期剪断下高密度分散系の粒子軌道に関する可逆・不可逆不連続転移

(名古屋大学理学部物理教室) 川崎猛史

## 【はじめに】

コロイド分散系に、振動振幅の大きな周期剪断をかけると、1周期を経ても粒子は元の場所に戻って来ない不可逆軌道で運動する。一方、振動振幅が小さい場合、定常状態においては1周期を経るすべての粒子が元の場所に戻ってくる可逆軌道が得られることが報告されている(1)。ここでは、一旦すべての粒子が可逆軌道で運動するようになると、二度と不可逆な軌道には戻らないことから、この可逆軌道はある種の吸収状態であると言える。一方、低体積分率のコロイド分散系においては、振動振幅に対して、ある特徴的な振動振幅を越えると不可逆軌道を取る粒子数が連続的に増大することが報告されている(2)。この様な振舞いは、他の多くの吸収状態転移と類似しており、これらの間には普遍性が存在するものと考えられている(Directed Percolation 普遍クラスなどと称される)。上記の粒子軌道に関する研究は、分散粒子が流動しやすい低体積分率の系で得られた結果であるが、一方、粒子が固体的になる高密度分散系における報告は少ない。そこで我々は、計算機実験により高密度分散系における粒子軌道の吸収状態転移について調べた(3)。

## 【結果と考察】

本研究では、3次元の分子動力学シミュレーションを行った。粒子を非熱的な Langevin 方程式で駆動させ、Lees-Edwards 境界条件を用い、剪断ひずみが  $\gamma(t) = \gamma_0(1 - \cos \omega t)$  と周期的に変化する剪断流を与えた。粒子間には2体の単純斥力ポテンシャル:  $U(r) = (\varepsilon/2)\{1 - (r/a)\}^2$  を与え、粒子の体積分率は  $\phi = 80\%$  に固定した。なお、本系におけるジャミング転移点は、およそ  $\phi_j = 65\%$  であり、扱った系は固体的である為、本系には弾性領域が存在し、降伏応力が観測される。そこで、ひずみの振動振幅  $\gamma_0$  を変化させた際の粒子軌道を調べた結果、高密度分散系でも粒子軌道に関する可逆・不可逆転移が観測された。ところが、先行研究(1, 2)で示された密度が低い場合とは異なり、粒子軌道は、ひずみの振動振幅  $\gamma_0$  に対して不連続に転移することが分かった。さらに、この不連続転移は、応力・ひずみ ( $\gamma_0$ ) 曲線における降伏点において起こることが明らかとなった。そもそも降伏点は、固体の弾性領域と塑性領域を分ける境界である。また、局所的には近接粒子からなるケージ構造を壊すのに必要なエネルギー障壁と降伏点での弾性エネルギーが釣り合う。このことから、上記のエネルギー障壁を超えるという過程は、動力学的にある種の活性化過程であると考えられる。平衡熱統計力学によると、熱活性化過程により、核生成などの不連続転移(1次相転移)が説明される。従って、高密度分散系での粒子軌道は、エネルギー障壁を超えるという過程と強く相関をもつために、不連続な変化を示すものと考えられる(3)。この様に、以上の結果は、吸収状態転移の理解に関する新たな一面を切り拓くものと期待される。

## 【参考文献】

- (1) D. J. Pine, J. P. Gollub, J. F. Brady, and A. M. Leshansky, *Nature* 485, 997 (2005).
- (2) L. Cort e, P. M. Chaikin, J. P. Gollub and D. J. Pine, *Nature Physics* 4, 420 (2008).
- (3) T. Kawasaki and L. Berthier, *Phys. Rev. E* 94, 022615 (2016).